

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-294884

**(43) Dat of publication of application : 20.10.2000**

(51)Int.Cl.

H01S 5/343  
H01L 33/00

(21)Application number : 2000-024660

(71)Applicant : **NIPPON TELEGR & TELEPH CORP**  
**<NTT>**

(22)Date of filing : 02.02.2000

(72)Inventor : NISHIDA TOSHIO  
SAITO HISAO  
KOBAYASHI NAOKI

(30)Priority

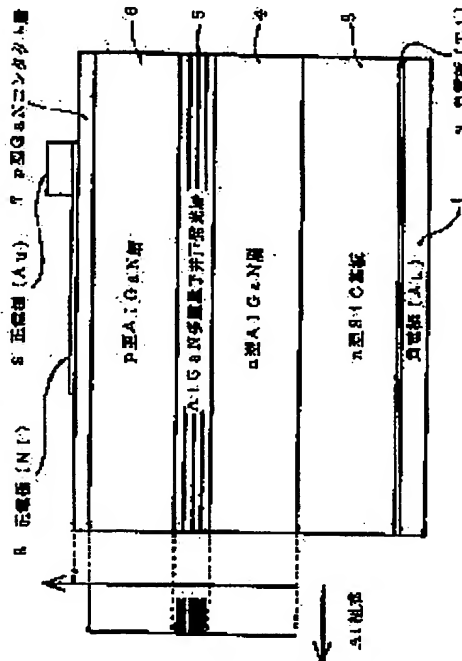
Priority number : **11028534**    Priority date : **05.02.1999**    Priority country : **JP**

## (54) OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To shorten a wavelength while high light emitting efficiency and the optical characteristic of a light absorbing coefficient are maintained in an optical semiconductor device having quantum well structure using a nitride III-V compound semiconductor.

**SOLUTION:** In LED having quantum well structure using a nitride III-V compound semiconductor, a barrier layer and a quantum well layer contain Al as an AlGaN multiplex quantum well layer 5 and the Al composition of the barrier layer is made to be larger than that of the quantum well layer. Thus, the operation efficiency of an optical semiconductor element using nitride III-V compound in a short wavelength, light emitting efficiency in the case of LED, for example, can be improved.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 02.02.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

**[Date of final disposal for application]**

[Patent number]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-294884

(P2000-294884A)

(43) 公開日 平成12年10月20日 (2000. 10. 20)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 S 5/343

H 0 1 S 5/343

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-24660 (P2000-24660)

(22) 出願日 平成12年2月2日 (2000. 2. 2)

(31) 優先権主張番号 特願平11-28534

(32) 優先日 平成11年2月5日 (1999. 2. 5)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 西田 敏夫

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 斎藤 久夫

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 小林 直樹

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100075753

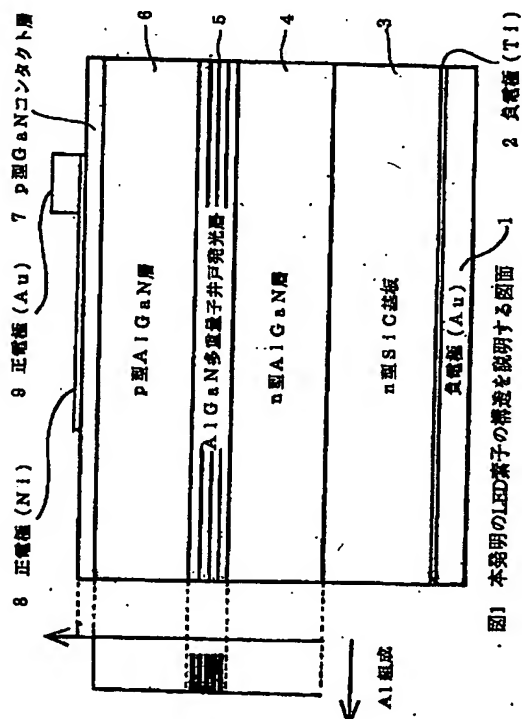
弁理士 和泉 良彦 (外2名)

(54) 【発明の名称】 光半導体装置

(57) 【要約】

【課題】窒化物III-V族化合物半導体を用いた量子井戸構造を有する光半導体装置において、高い発光効率や光吸収係数の光学的特性を維持したまま、短波長化を実現する。

【解決手段】窒化物III-V族化合物半導体を用いた量子井戸構造を有するLEDにおいて、AlGaIn多重量子井戸層として、障壁層と量子井戸層が共にAlを含み、障壁層のAl組成が量子井戸層のAl組成よりも大きい。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】窒化物半導体を用いた量子井戸構造を有する光半導体装置において、上記量子井戸構造を構成する障壁層と量子井戸層が共にAlを含み、前記障壁層のAl組成が前記量子井戸層のAl組成よりも大きいことを特徴とする光半導体装置。

【請求項2】前記障壁層と前記量子井戸層のAl組成の差が15%以内であり、かつ、前記量子井戸層のAl組成が2%以上であることを特徴とする請求項1記載の光半導体装置。

【請求項3】Alを含む窒化物半導体からなる発光層を有する光半導体装置において、障壁層と井戸層のAl組成の差が2%以上15%以内、前記障壁層と前記井戸層の平均Al組成が7%以上、前記井戸層の厚さが4nm以下のAlGaIn超格子構造をキャリア供給層とすることを特徴とする光半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化物半導体、例えば、窒化物III-V族化合物半導体を用いた量子井戸構造を有する光半導体装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】例えば、窒化物III-V族化合物半導体を用いた量子井戸構造を有する従来の光半導体装置では、発光層を形成するために、InGaIn混晶薄膜を量子井戸層とし、InGaInもしくはGaInを主たる障壁層とする量子井戸構造を使用してきた。

【0003】このような構造により、約400nmと比較的発光波長の短い発光ダイオード(LED)、レーザーダイオード(LD)が実現されてきた。

【0004】前記LEDやLDにおいて、光学的分解能や化学的な活性度の高い光源を得ることを目的として、さらに短い波長域を実現しようとする場合、①量子井戸層を1~2分子層程度と極端に薄くしたり、②障壁層としてAl組成の高い材料を利用することが検討されてきた。

【0005】また、前記LEDやLDにおいて、発光層を挟むn型並びにp型のキャリアを供給するキャリア供給層には、発光波長に比較してバンドギャップエネルギーの大きいAlGaIn混晶(Jpn. J. Appl. Phys., 35 (1996) L74)やGaIn/AlGaIn超格子構造(Phys. Lett., 72 (1998) 211)が使用されてきた。さらに、出願人は、Alを含む発光層(光学的活性層)を有するLEDによって、従来のGaIn/AlGaIn量子井戸構造を発光層とするLEDよりも短波長化が可能であることを示した(Phys. stat. Sol. (a) 176, 45 (1999))。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】前記①の場合、量子井戸層の膜厚の制御が困難であるという問題があった。

【0007】前記②の場合、窒化物量子井戸構造においてはピエゾ電界効果が顕著なため、発光効率や光吸収の光学特性が貧弱で、有効な光半導体装置を実現することが不可能であった。

【0008】図6は、本発明および従来の原理を説明する概念図で、ピエゾ効果による発光強度変化を説明する図である。(a)は本発明におけるピエゾ効果が小さい場合、(b)は従来におけるピエゾ効果が大きい場合を示す。

【0009】光学的分解能や化学的な活性度の高い光源を目的として、さらにより短い波長域を実現しようとする場合、Alを含む光学的に活性な発光層が必要となるが、このような発光層を挟むn型並びにp型のキャリア供給層には、発光波長に比較してバンドギャップエネルギーがより大きく、電気抵抗の小さい層が必要となる。しかしながら、Al組成を増加させてバンドギャップエネルギーを大きくすると、前記AlGaIn混晶においては、キャリア濃度と移動度が低下し、電気抵抗が高くなる課題があった。また、前記GaIn/AlGaIn超格子構造を用いると、膜厚方向の通電に対して電気的な障壁が形成され、抵抗となること、および、キャリアの有効質量が大きく、量子効果によって実効的なバンドギャップエネルギーを大きくすることが困難であることなどの課題があった。

【0010】また、これまで窒化物半導体の研究は、発光効率が比較的高いとされるInGaIn発光層の発光波長である長い波長領域で検討が進められており、GaInのバンド端発光波長である360nmよりも短い波長の発光素子のキャリア供給層に関しては、Al組成増大による結晶品質の劣化が過大に評価され、系統的な検討は行われていない。しかしながら、我々は成長技術を向上することにより、GaInを含まない超格子構造でも、例えばp型導電層を実現できる程度に良好に作製することを可能としたことから、このような先入観を排除しうるものと結論した。

【0011】従来行われてきたような量子井戸構造では、量子井戸層がGaInやInGaInにより構成されるため、障壁層と量子井戸層の格子定数の差に起因して両層の歪みが大きく、図6(b)に示すように、ピエゾ効果が大きく、ピエゾ電界が増大する。

【0012】このため、電子と正孔の存在位置の上下方向への分離が増大し、その結果、光学的遷移確率が減少し、発光効率や光吸収係数の低下が生じ、良好な光半導体装置を実現することが困難となる。

【0013】本発明は、前述の課題を解決するためになされたもので、その目的は、窒化物III-V族化合物半導体を用いた量子井戸構造を有する光半導体装置において、高い発光効率や光吸収係数の光学的特性を維持したまま、短波長化を実現することにある。

【0014】また、本発明の別の目的は、窒化物III-V

族化合物半導体を用いた半導体装置において、光透過効率の光学的特性を維持したまま、低抵抗化を実現することにある。

#### 【0015】

【課題を解決するための手段】上記課題を達成するために、本発明は、窒化物III-V族化合物半導体を用いた量子井戸構造を有する光半導体装置において、量子井戸構造として、量子井戸層の構成要素にAlを使用し、つまり、障壁層と量子井戸層が共にAlを含み、前記障壁層のAl組成が前記量子井戸層のAl組成よりも大きいことを特徴とするもので、これにより、短波長化を実現するため、障壁層のAl組成を高くしても、量子井戸層にもAlを含ませることにより、格子定数の差を低減し、ピエゾ電界を抑制することが可能となる。

【0016】特に、障壁層と量子井戸層のAl組成の差を15%以下、かつ、量子井戸層のAl組成を2%以上とする（量子井戸層が2%以上のAlを含む）量子井戸構造をもって光半導体装置を構成するのが好ましい。これにより、短波長化は効果的で、かつ、量子井戸層と障壁層の格子定数の違いが0.5%以下となり、量子井戸層中に誘起され、形成されるピエゾ電界を1MV/cm以下程度に抑制することが可能となる。

【0017】このため、例えば2nm程度の量子井戸層を形成した場合、図6(a)に示すように、ピエゾ電界を小さく保ち、電子と正孔の存在位置の上下方向への分離を減少させることにより、光学的遷移確率が増加し、高い発光効率や光吸収係数を有する光半導体装置を実現することが可能となる。

【0018】さらに、本発明は、Alを含む窒化物半導体からなる発光層を有する光半導体装置において、障壁層と井戸層のAl組成の差が2%以上15%以内、前記障壁層と前記井戸層の平均Al組成が7%以上、前記井戸層の厚さが4nm以下のAlGaIn超格子構造をキャリア供給層とすることを特徴とする。

【0019】この構造により、窒化物III-V族化合物半導体を用いた半導体装置において、光透過効率の光学的特性を維持したまま、低抵抗化を実現できる。

【0020】なお、ここに示した、本発明のピエゾ電界抑制の効果は、LEDやLD等の発光器だけでなく、フォトダイオード(PD)等の受光器や光変調器に適用できることは言うまでもない。

#### 【0021】

【発明の実施の形態】実施の形態1

図1は本発明の一実施の形態のLED素子の構造を示す概略断面図である。

【0022】図1において、1は負電極(Au)、2は負電極(Ti)、3はn型SiC基板、4はn型AlGaIn層、5はAlGaIn多重量子井戸発光層(MQW(MultiQuantum Well)層)、6はp型AlGaIn層、7はp型GaInコンタクト層、8は正電極(Ni)、9は正

電極(Au)である。

【0023】すなわち、本実施の形態のLEDを形成する基板としては、面方位精度 $\pm 0.2^\circ$ 以内で(0001)Si面正方位に配向したキャリア濃度 $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ でn型の6H-SiC基板3を用いた。

【0024】結晶成長には縦型のMOVPE(Metal Organic Vapor Phase Epitaxy)炉を用い、成長圧力300 Torr、結晶成長の原料としてはトリメチルガリウム(TMg)、トリエチルガリウム(TEG)、トリメチルアルミニウム(TMA)、アンモニア( $\text{NH}_3$ )、シラン( $\text{SiH}_4$ )、シクロペンタジエニルマグネシウム( $\text{Cp}_2\text{Mg}$ )を使用し、V族/III族比は約10000で成長を行った。

【0025】図1に示すLEDにおいて、n型SiC基板3上への厚さ400nmのn型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層4の成長にはTMg、TMA、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{SiH}_4$ を用い、AlGaIn多重量子井戸発光層5の成長にはTMg、TMA、TEG、 $\text{NH}_3$ を用い、厚さ400nmのp型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層6の成長にはTMg、TMA、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を用い、厚さ15nmのp型GaInコンタクト層7のGaIn成長にはTMg、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を用いている。量子井戸部分であるAlGaIn多重量子井戸発光層5は、5組の厚さ2nmでAl組成5%(0.05)の量子井戸層と、厚さ5nmでAl組成15%(0.15)の障壁層から成っている。すなわち、本実施の形態では、障壁層と量子井戸層のAl組成の差は10%以内であり、量子井戸層は5%のAlを含む。成長温度は1030℃である。正電極(陽極)8、9としてNi層とAu層を積層し、負電極(陰極)2、1として基板3の裏面にTi層とAu層を蒸着してLED素子を形成した。

【0026】図2は、上記のように作製したLEDの室温における発光スペクトルを示す図である。横軸に波長 $\lambda$ (nm)、縦軸に発光強度が取ってある。

【0027】図2から明らかなように、本実施の形態のLEDでは、発光ピーク波長約345nmが得られた。これはこれまで通常報告されているLDやLEDの発光波長(360nm以上)や、最近報告されたGaIn/AlGaIn系で量子井戸層を薄くしたLED(例えば、Appl. Phys. Lett., vol. 73, p. 1668, 1998)の発光波長に比較しても最も発光波長が短く、本発明の効果は明らかである。すなわち、窒化物III-V族化合物半導体を用いた量子井戸構造を有するLEDにおいて、高い発光効率や光吸収係数の光学的特性を維持しながら、短波長化を実現することができた。

#### 【0028】実施の形態2

図1に示した実施の形態1とほぼ同様な素子構造で、量子井戸層5に1%未満のInを添加したところ、ピーク発光波長が350nmと、実施の形態1の場合の345

nmに比較してやや長波長化したものの、実施の形態1の場合に比較して約10倍の発光強度を得た。

#### 【0029】実施の形態3

図3(a)は本発明の別の実施の形態の半導体ヘテロ構造を有する窒化物半導体発光ダイオード(LED)の断面図、図3(b)は図3(a)に示す窒化物半導体発光ダイオードの各層のGaとAlの合計量に対するAl組成を示すグラフである。

【0030】図に示すように、6H-SiCからなり(0001)Si面に配向したキャリア濃度 $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるn型SiC基板11上に、厚さが300nmで、Al組成が15%の組成一定領域からなるn型AlGaIn層12が形成されている。

【0031】また、n型AlGaIn層12上に、2種類のAl組成のAlGaInからなる75周期のn型超格子構造(キャリア供給層)13が形成されている。n型超格子構造13を構成する井戸層のAl組成は14%(バルクのバンドギャップ波長は340nm以下)、障壁層のAl組成は18%である。各井戸層、および各障壁層の厚さは、ともに2nmであり、障壁層と前記井戸層の平均Al組成は16%である。

【0032】また、n型超格子構造13上に、AlGaInからなる多重量子井戸発光層14が形成されている。多重量子井戸発光層14は5組の、厚さが2nmでAl組成が10%の量子井戸層、および厚さが2nmでAl組成が14%の障壁層からなる。

【0033】また、多重量子井戸発光層14上に、2種類のAl組成のAlGaInからなる75周期のp型超格子構造(キャリア供給層)15が形成されている。p型超格子構造15を構成する井戸層のAl組成は14%、障壁層のAl組成は18%である。各井戸層、および各障壁層の厚さは、ともに2nmであり、障壁層と前記井戸層の平均Al組成は16%である。

【0034】また、p型超格子構造15上には、GaInからなるp型のコンタクト層16が形成され、コンタクト層16上にNiからなる正電極17、Auからなる正電極18が積層されている。

【0035】また、n型SiC基板11の裏面には、Tiからなる負電極19、Auからなる負電極20が積層されている。

【0036】ここで、n型SiC基板11に負電極19、20を作製する前に、発光層のフォトルミネッセンススペクトルを測定したところ、電導性p型窒化物に特有な青色発光を示した。

【0037】図4は、前記のように作製したAlGaIn多重量子井戸LEDの電流密度-電圧(J-V)曲線を示す図である。

【0038】バイアス電圧4Vにおいて、電流密度 $21 \text{ A/cm}^2$ 、電極単位面積あたりの微分抵抗 $22 \text{ m}\Omega/\text{cm}^2$ が得られた。

【0039】この結果を、同じ装置で作製したLED素子で、キャリア供給層のAl組成の平均値が7%と低く、発光波長が400nmと長い波長のInGaIn系LEDと比較したところ、本実施の形態のAlGaIn多重量子井戸LEDの通電特性はInGaIn系LEDと比較して遜色無いものであった。

【0040】また、図5は上記のLEDの発光スペクトルを示す図である。

【0041】発光主ピークが343nmであり、これまでの窒化物LEDの中で最短波長が可能であった。

【0042】発光層のエネルギーバンド端が発光スペクトルの主ピークとなっており、窒化物LEDでは最短波長でありながら、InGaIn系のLEDと遜色無い低抵抗性を示したことから本実施の形態の効果は明らかである。また、このような効果を得るには、以下の①～③の条件を満たすことが望ましい。①分極による内部電界の影響が少ない4nm以下の井戸層を用いる。②分極の生じにくい15%以下の小さい組成差にする。③不純物の活性化が効果的となる2%以上の組成差にする。④障壁層と井戸層の平均Al組成が7%以上とする。

【0043】すなわち、本実施の形態では、キャリア供給層の構造として、障壁層と井戸層のAl組成の差を2%以上15%以内、平均Al組成を7%以上、井戸層の厚さを4nm以下とすることにより、発光層にAlを含む短波長窒化物光半導体素子の動作効率の向上、ここではLEDの場合の素子抵抗の低減を可能とした。このような構造を利用することにより、窒化物III-V族半導体の動作波長を従来の360nm程度から大きく短波長化することが可能となる。

【0044】なお、本発明は、特許請求の範囲に記載した要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは勿論である。すなわち、図1に示した上記実施の形態の構成はあくまで1つの例示であり、細かな構成は種々の態様を取り得ることはいうまでもない。さらに、図1に示したLED素子では、障壁層と量子井戸層のAl組成の差が15%以内であり、量子井戸層が2%以上のAlを含むのが好ましいのであり、本発明はこれに限定されないことはいうまでもない。また、図3に示したLED素子では、キャリア供給層であるAlGaIn超格子構造を構成する障壁層と井戸層のAl組成の差が2%以上15%以内、障壁層と井戸層の平均Al組成が7%以上、前記井戸層の厚さが4nm以下であればよい。

#### 【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、量子井戸構造として、量子井戸層の構成要素にAlを使用し、障壁層のAl組成を量子井戸層のAl組成よりも大きくすることにより、短波長における窒化物III-V族化合物を用いた光半導体素子の動作効率、例えばLEDの場合の発光効率を向上することを可能とした。この構造を利用することにより、窒化物光半導体素子の動作

波長を従来の370nm程度から大きく短波長化することが可能となった。また、障壁層と井戸層のAl組成の差が2%以上15%以内、前記障壁層と前記井戸層の平均Al組成が7%以上、前記井戸層の厚さが4nm以下のAlGa<sub>N</sub>超格子構造をキャリア供給層とすることにより、窒化物III-V族化合物半導体を用いた半導体装置において、光透過効率の光学的特性を維持したまま、低抵抗化を実現することができた。

【0046】このような効果は、LEDやLD等の発光器に留まらず、PD等の受光器や光変調器など、広く窒化物半導体装置における光学的空間分解能等の特性を向上でき、さらに、これらの素子を利用して化学物質を光励起する場合や検出する場合の感度向上にも極めて有効である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態のLED素子の構造を示す概略断面図である。

【図2】図1に示したLED素子の発光スペクトルを示す図である。

【図3】(a)は本発明の別の実施の形態の半導体ヘテロ構造を有する窒化物半導体発光ダイオード(LED)を示す断面図、(b)は(a)に示す窒化物半導体発光ダイオードの各層のGaとAlの合計量に対するAl組成を示すグラフである。

【図4】図3のAlGa<sub>N</sub>多重量子井戸LEDの電流密度-電圧(J-V)曲線を示す図である。

【図5】図3のLEDの発光スペクトルを示す図である。

【図6】(a)は本発明、(b)は従来の原理を説明する概念図で、ピエゾ効果による発光強度変化を説明する図である。

【符号の説明】

1…負電極(Au)、2…負電極(Ti)、3…n型SiC基板、4…n型AlGa<sub>N</sub>層、5…AlGa<sub>N</sub>多重量子井戸発光層、6…p型AlGa<sub>N</sub>層、7…p型Ga<sub>N</sub>コンタクト層、8…正電極(Ni)、9…正電極(Au)。

【図1】

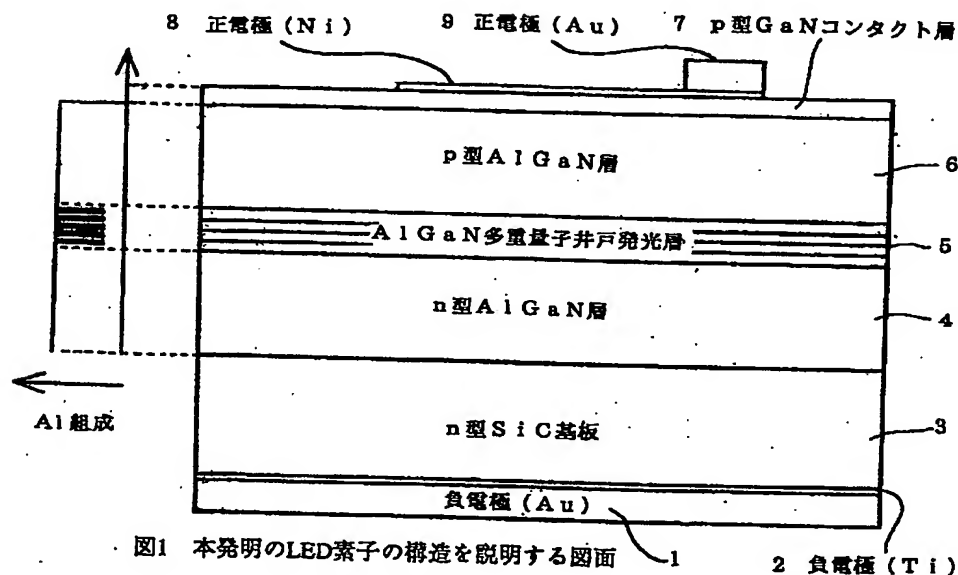


図1 本発明のLED素子の構造を説明する図面

【図2】

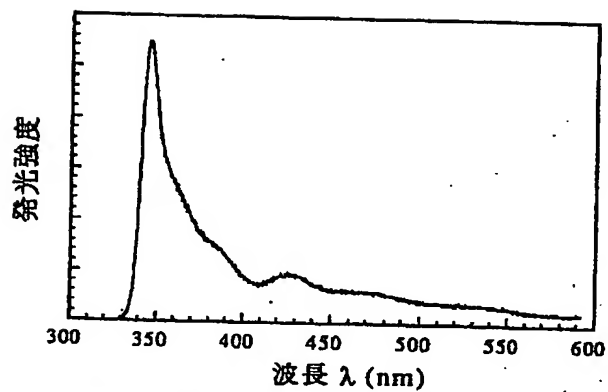


図2 本発明のLED素子の室温発光スペクトル

【図3】

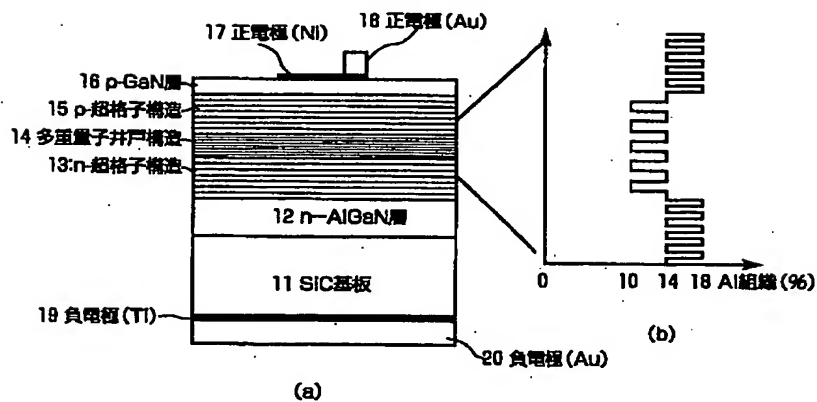


図3 本発明の実施の形態3の素子構造を説明する図



【図4】

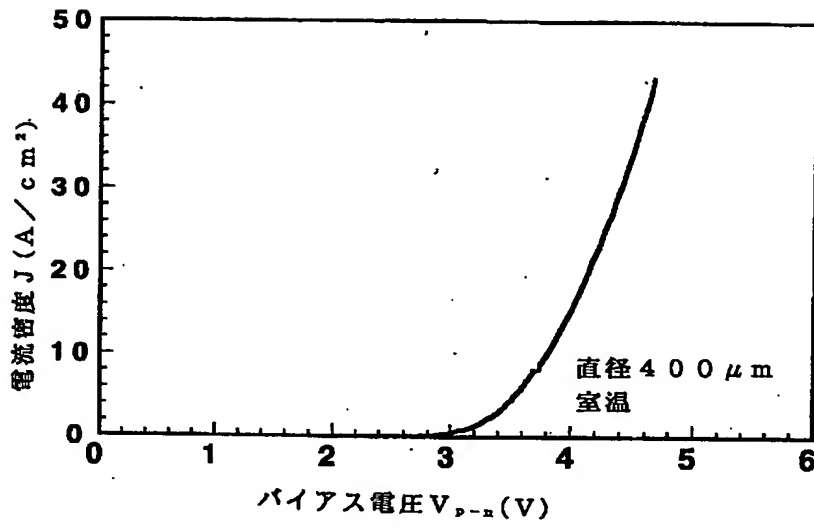


図4 本発明の実施結果を示す図(J-V曲線)

【図5】

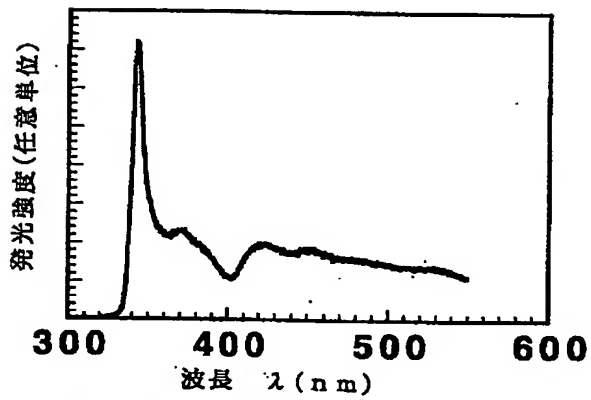
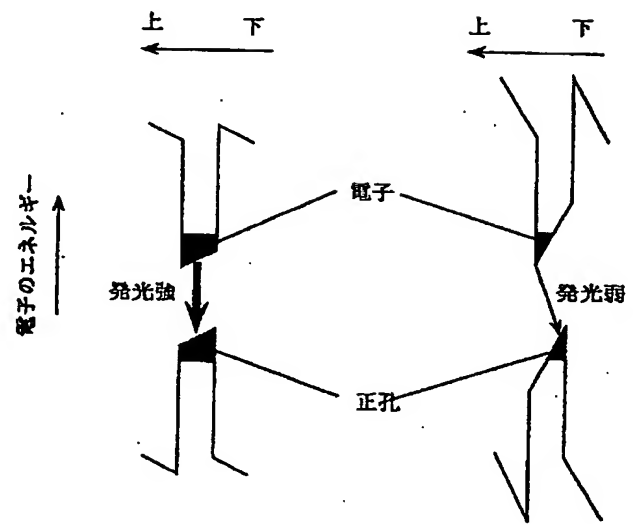


図5 本発明の実施結果を示す図(EL発光スペクトル)

【図6】



(a) ピエゾ効果が小さい場合 (b) ピエゾ効果が大きい場合

図6 ピエゾ効果による発光強度変化を説明する図面